

<原著>セメント質の層板構造と線維性基質および石灰化度の変化に関する研究

著者名(日)	松尾 朗
雑誌名	東日本歯学雑誌
巻	12
号	2
ページ	193-217
発行年	1993-12-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1145/00007908/

〔原 著〕

セメント質の層板構造と線維性基質
および石灰化度の変化に関する研究

松尾 朗

東日本学園大学歯学部口腔解剖学第一講座

(指導：矢嶋 俊彦教授)

Study of the lamellar structures of cementum,
its degree of mineralization and fibrous components
by light and scanning electron microscopy
and by contact microradiography.

Akira Matsuo

Department of Oral Anatomy, School of Dentistry,

HIGASHI-NIPPON-GAKUEN University

(Prof. Toshihiko Yajima)

Abstract

The lamellar structures of human molar cementum were compared with the degree of mineralization and fibrous components by light and scanning electron microscopy, and also by contact microradiography. The lamellar structures of cementum in acid-etched ground sections were showed in light microscopy, but not with scanning electron microscopy. Narrow groove demarcated-lamellae in the sections were observed by scanning electron microscopy for the first time by treatment with 5% sodium hypochlorite solution for 10 minutes followed by 0.5M hydrochloric acid for 20 seconds. These lamellar structures were classified into the Sharpey's fiber layers and matrix fiber layers according to the fibrous components. Sharpey's fibers running perpendicular to the root surface were the main components in the Sharpey's fiber layers. Matrix fiber layers were principally composed of matrix fibers running parallel to the root surface, and then formed from both cross- and longitudinal-sectional layers of matrix fibers. Intersecting fibers crossing the matrix fibers were observed among the matrix fiber bundles. The incremental lines of cementum, which were showed as light bands (2-5 μ m

in width) by light microscopy, coincided with radiopaque (hypermineralized) lines in the contact microradiographs. These hypermineralized lines were frequently adjacent to narrow, radiolucent (hypomineralized) lines. The incremental lines agreed with the boundary between hyper- and hypo-mineralized lamellae in the area of unclear hypermineralized lines. The narrow grooves treated with hypochlorite and acid overlapped mostly with the hypomineralized lines adjacent to the incremental (hypermineralized) ones.

These results suggest that the incremental lines of cementum correspond to intermittent planes of mineralization and ground substances.

Key words : Cement lamellae, Incremental line, Fibrous component, Scanning electron microscopy, Contact microradiography

1. 緒言

セメント質は歯根象牙質を被覆する硬組織で、歯の支持装置の一部として、歯を歯槽中に固定することが主な機能である^{1,2)}。ヒトの歯のセメント質では、歯頸部は薄い無細胞セメント質で、根尖側にかけてしだいに肥厚し細胞を有する有細胞セメント質となり、そこには歯根表面と平行な成長線に境される多数の層板構造が認められる¹⁻⁷⁾。その成長線は、コンタクトマイクロラジオグラフィーでX線吸収度の高い、高石灰化の構造とされ、セメント質の基質形成と石灰化に周期的な変化があるために生じたと考えられている⁴⁻⁷⁾。セメント質の有機性基質の主成分はコラーゲン線維であり、歯頸部の無細胞セメント質では歯周靱帯の主線維束が埋め込まれたシャーピー線維（非固有線維）で、根尖側の有細胞セメント質では歯根表面と平行する基質線維（固有線維）であることがすでに報告されている^{1,2,8)}。

セメント質の微細構造に関しては、まず透過型電子顕微鏡でセメント質断面のレプリカ像が観察された^{9,10)}。さらに超薄切片により、無細胞セメント質では、セメント-象牙境に垂直で、

歯周靱帯の主線維束と連続しているシャーピー線維が主な線維成分であることが確認された^{5,11)}。有細胞セメント質の基質線維に関しては、歯根表面と平行に走行する線維と、不規則に配列する線維が報告されている^{5,12)}。さらに、基質線維束が明瞭に認められる部分では、線維束の縦断面と横断面が交互に重なる層構造が認められ、これらの基質線維束の間に、この基質線維束に交差し、連続する短い交差線維の存在が報告されている¹³⁾。走査型電子顕微鏡では、セメント質表面構造に関して詳細に記載され、シャーピー線維束の分布などが明らかにされている¹⁴⁻¹⁶⁾。また、セメント小腔の形態や、割断面のシャーピー線維の配列などに関しても報告されている¹⁶⁻¹⁹⁾。しかし、光学顕微鏡で観察される層板が電子顕微鏡で識別困難なため²⁰⁾、セメント質の成長線の微細構造や層板構造と線維性基質との関係には不明な点が多い。また臨床的には、歯根面齲蝕の進行がセメント質の線維性基質配列と関係することが示唆されている⁶⁾。このようなセメント質の構造を明らかにすることは、組織学的に重要であるとともに、歯根面齲蝕の進行や歯周病罹患根面の病理を考える上でも必要であると思われる。

そこで本研究では、ヒト臼歯セメント質の層板構造と石灰化度の変化、層板構造と線維性基質の立体構造の関係を明らかにするため、主に走査型電子顕微鏡を用いて以下のような研究を行った。まず、セメント質研磨面の光学顕微鏡像と走査型電子顕微鏡像を比較した。次に、研磨片を次亜塩素酸ナトリウムで処理後、酸処理を施しセメント質の層板構造を観察した。さらに、観察された層板構造・光学顕微鏡の層板・石灰化度との関係を明確にするため、同一研磨試料を光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグラフィー・走査型電子顕微鏡で比較観察した。

II. 材料と方法

材料には、10%中性フォルマリン中で保存されていたヒトの抜去臼歯を用いた。歯根部に病巣が認められず、根尖部セメント質がやや肥厚している歯を選び、2%グルタルアルデヒド・2%パラホルムアルデヒド(0.1Mリン酸緩衝液, pH7.2, または、0.1Mカコジル酸緩衝液pH7.2)で24時間再固定した。再固定後、歯を歯軸と平行にダイヤモンドディスクで切出し研磨片を作成した。また、一部試料は凍結切断を行った。

1. セメント質の走査型電子顕微鏡観察

1) 凍結切断試料の作成

歯を15%, 25%, 50%DMSO(dimethyl sulphoxide)溶液中に各1時間浸し置換した後、液体窒素中で凍結切断した。その後、50%DMSO溶液中で室温に戻し、緩衝液でDMSOを十分に洗浄し、1M塩酸で30-60秒間エッチングした。

2) 研磨試料の光学顕微鏡観察

切り出された歯片を厚さ50-100 μ mに研磨し、無染色で光学顕微鏡観察し(オリンパス VANOX), 写真を撮影した(オリンパス PM-10ADS)。

3) 酸処理研磨試料の作成

光学顕微鏡で観察した研磨片を、1M塩酸で30-60秒間エッチングした。また、一部試料ではセメント質の一部をヴァーニッシュ(マニキュア液でコーティング)し、次に述べる次亜塩素酸-酸処理を行った。

4) 次亜塩素酸-酸処理研磨試料の作成

研磨片は5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で10-60分間処理し、流水中で2時間洗浄した。続いて、1M塩酸で30-60秒間処理し線維性基質を露出させた(次亜塩素酸-酸処理)。

また、一部試料は次亜塩素酸ナトリウム処理後、10%EDTA(0.1Mカコジル酸緩衝液, pH7.2, 1%グルタルアルデヒドを含む, 室温)で3-7日間脱灰し、水酸化ナトリウム浸軟処理²¹⁾を施した。浸軟処理は、試料を2M水酸化ナトリウム溶液(30°C)で3-7日間処理し、同期間蒸留水で洗浄して行った。

5) 走査型電子顕微鏡試料の後固定・導電染色・乾燥・金コーティング・観察

上述の処理後、試料は十分に洗浄し、1%四酸化オスミウム(0.1Mリン酸緩衝液, pH7.2)で2時間後固定した。

一部試料は導電染色を行った²²⁾。試料を1%四酸化オスミウム(0.1Mカコジル酸緩衝液, pH7.2)で2時間後固定し、緩衝液で4時間洗浄後、1%タンニン酸水溶液中で2時間処理した。その後、一晚緩衝液中で洗浄し、1%四酸化オスミウム(0.1Mカコジル酸緩衝液, pH7.2)中で2時間染色した。

後固定のみを行った試料は、エチルアルコールで脱水、酢酸イソアミルに置換し、液化二酸化炭素中で臨界点乾燥(日立HCP-2)を行った。

導電染色を行った試料は、t-ブチルアルコール凍結乾燥²³⁾を行った。試料はエチルアルコールで脱水、t-ブチルアルコールに置換後、冷蔵庫中で凍結、真空ポンプで吸引し乾燥した。

これら乾燥した試料は両面テープまたは、エ

ポキシ樹脂で試料台に載物後、金を10–20nmスパッタコーティングし（エイコーIB-3、または日本電子JFC-1500）、走査型電子顕微鏡（日立X-650、または日本電子JSM-T20、加速電圧20kV）で観察した。

2. 同一研磨片の光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグラフィー・走査型電子顕微鏡による比較観察

切り出した歯片は厚さ約50 μ mに研磨し、セメント質の同一層板構造を、光学顕微鏡、コンタクトマイクロラジオグラフィー、走査型電子顕微鏡で比較観察した。

1) コンタクトマイクロラジオグラフィーの撮影

コンタクトマイクロラジオグラフィーの撮影は軟X線照射装置（ソフテックスCMR）を使用した。フィルムはspectroscopic film, 649-O（Eastman Kodak）を使用し、管電圧10kV、管電流4–5mA、距離70mm、露出時間は25–45分間で撮影した。

2) 光学顕微鏡観察

1) でコンタクトマイクロラジオグラフィーを撮影した研磨片の無染色光学顕微鏡写真を撮影した。

3) 走査型電子顕微鏡観察

1), 2) で用いた同一研磨片を、5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で10分間、続いて0.5M塩酸で20秒間処理した（次亜塩素酸–酸処理）。試料は導電染色を施し、t-ブチルアルコール凍結乾燥を行い、金をスパッタコーティングし、走査型電子顕微鏡で観察した。

3. 次亜塩素酸–酸処理によるセメント質の局所変化の観察

次亜塩素酸ナトリウム処理と続く酸処理により生じるセメント質の局所変化を明らかにするため、次亜塩素酸ナトリウム処理後と酸処理後に、それぞれ光学顕微鏡像とコンタクトマイクロラジオグラフィー像を撮影した。両処理が最

初に作用する部位を明確にするため、次亜塩素酸ナトリウム処理時間を5分間に短縮し、塩酸処理は濃度を0.01Mに下げて行った。

1) 次亜塩素酸ナトリウム処理試料の作成・観察

研磨片（厚さ約50 μ m）の一部をヴァーニッシュし、次亜塩素酸ナトリウム処理（5%, 5分間）を行った。ヴァーニッシュ除去後、光学顕微鏡写真とコンタクトマイクロラジオグラフィー（high resolution film, SO-343, Eastman Kodak; 管電圧7kV; 管電流4mA; 距離55mm; 露出時間25分間）を撮影した。

2) 酸処理試料の作成・観察

同一試料を、塩酸（0.01M, 30秒間）でエッチングし、コンタクトマイクロラジオグラフィーを撮影（酸処理前と同一条件）し光学顕微鏡で同一部位の変化を観察した。

III. 結 果

1. セメント質の走査型電子顕微鏡観察

1) 凍結切断面

歯頸側の薄い無細胞セメント質では、歯周靱帯の主線維束がセメント質に埋め込まれ、シャープピー線維束となっていた（図1a）。根尖側の厚い有細胞セメント質最表層と最深部にも、セメント–象牙境に垂直なシャープピー線維を主体とした層（シャープピー線維層）が認められた（図1b）。両層に挟まれて、歯根表面に平行する構造が観察された。この構造は、その長軸がシャープピー線維に直交する細い基質線維束の縦断面であった（図1c）。また、横断もしくは斜断された線維束の断面と、セメント質の深部から浅部方向に走行する短い線維が認められた。しかし、基質線維が多い部分（基質線維層）の切断面は平滑でないため、これらの線維の相互関係は不明瞭であった。

2) 研磨試料の光学顕微鏡像と走査型電子顕微鏡像の比較

i) 無染色光学顕微鏡像

根尖側の厚い有細胞セメント質の無染色研磨標本では、多数のセメント小腔と小腔から歯根表面方向に伸びる細いセメント細管、さらに多数の層板構造が認められた(図2 a)。これらの層板を境する成長線は2~5 μm 幅の暗調または明調な帯状構造で、暗調な成長線には明調な構造が(図2 a)、明調な成長線には暗調な構造が(図9 a) 伴走する場合が多かった。これらの成長線像の差異は、観察位置・観察倍率・焦点位置・絞りにより変化した。

多くの試料のセメント質最深部に、細く短い暗調なシャープリー線維がセメント-象牙境と垂直に走行していた(図2 a, 8 a)。その外層には、明瞭なシャープリー線維が認められない層板が重層していた。

ii) 走査型電子顕微鏡像

光学顕微鏡で観察した試料を酸でエッチングし走査型電子顕微鏡で観察すると、研磨面に露出したセメント小腔は認められたが、明確な層板構造は観察されなかった(図2 b, 左側部)。しかし、凍結断面と同様に、線維性基質成分の走行・配列の違いによる層構築が識別できた(図3 a)。セメント質最深部ではシャープリー線維を主成分とするシャープリー線維層が、またその外層では、歯根表面と平行する基質線維層が断面に比べ明瞭に観察された。基質線維層には、研磨面に垂直で歯を輪状に取り巻く線維束(輪状線維束)の横断面と、歯軸方向に配列する線維束(歯軸線維束)の縦断面が認められた(図2 c, 3 b)。歯軸線維束の縦断面と輪状線維束の横断面が規則的に配列する部分では、両線維束が交互に重なる層構築がみられた(図2 c)。このような層構築がやや不明瞭な部分では、縦断面と横断面が複雑に配置し、その間にセメント質深部から浅部方向に走行する短い交差線維が多数観察された(図3 b)。交差線維の中にはその走行方向を変え、歯軸線維束に移行

する線維が認められた。

3) 次亜塩素酸-酸処理試料の走査型電子顕微鏡観察

研磨面と凍結断面では、光学顕微鏡像のような明瞭な層板構造は観察されなかった。しかし、層板構造を有するセメント質研磨面を5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理し、さらに1M塩酸で処理(次亜塩素酸-酸処理)すると、光学顕微鏡像の層板構造(図2 a)に類似した層構造が観察された(図2 b, 右側)。層構造は、セメント質の一部が歯根表面と平行に溶出して形成された幅の狭い溝と、溶出の少ない幅の広い板状構造で構成されていた(図2 b, 4 a)。溝構造の位置と走行は(図2 b)、光学顕微鏡像の成長線(図2 a)と類似していた。この層板構造は歯頸側の薄いシャープリー線維を主体とした無細胞セメント質では観察されず、根尖側の厚い有細胞セメント質で認められた(図4 a)。またセメント小腔は、次亜塩素酸ナトリウム処理により拡大するため酸処理のみの試料と比べ明瞭となった(図2 b)。

次亜塩素酸-酸処理した厚い有細胞セメント質においても、凍結断面・研磨面と同様に、最深部にシャープリー線維層とその外側に基質線維層が認められた(図4 b, c)。シャープリー線維層は、象牙質や基質線維層より溶出しやすく窪んでいるため、断面や研磨面よりも明瞭に識別できた。シャープリー線維層では、セメント-象牙境と垂直に走行する線維が、互いにほぼ平行に配列していた。基質線維層とシャープリー線維層の境界部では、処理による溝は形成されず、シャープリー線維束はほぐれ、その間に基質線維が混入し、基質線維層に移行していた。その外層では溝で境された多数の基質線維層が観察された(図4 b)。これらの基質線維層の線維配列や、次亜塩素酸-酸処理による層板の溶出の程度は、層板毎に異なっていた。比較的溶出が少ない基質線維層では、凍結断面・酸処理

試料と同様に、歯軸線維束の縦断面と、輪状線維束の横断面、セメント質深淺方向に走行する短い交差線維が複雑に交差し網状構造を作っていた(図5 a)。さらに、次亜塩素酸ナトリウム処理後に水酸化ナトリウム浸軟処理を施した試料では、輪状線維束の横断面の間に短い交差線維が明瞭に観察された(図5 b)。交差線維は、輪状線維束の横断面を境するようにセメント質深淺方向に走り、輪状線維束の深淺両側の歯軸線維束に移行・連続していた。また、歯軸線維束を横切る交差線維が輪状線維束と連なる部分も認められた。

基質線維層中の交差線維とシャープピー線維を比較するため、光学顕微鏡で層板を貫く明らかなシャープピー線維が観察される研磨片(図6 a)を走査型電子顕微鏡で観察した(図6 b)。シャープピー線維は多量の基質線維中に埋め込まれ、その一部を研磨片表面に露出した太い棒状構造として観察された(図6 c)。基質線維との境界部には次亜塩素酸-酸処理によって生じた間隙が認められ、周囲の交差線維などの基質線維からシャープピー線維を明瞭に区別できた。

次に、基質線維層間に生ずる溝構造の壁面を詳細に観察した(図7)。溝の表面(歯根膜)側の壁面では、壁面からセメント質深部へ突き出した線維束の断端(図7 a)と、不定形物質に被われた輪郭の不明瞭な線維が観察された(図7 b)。それに対し、溝の深(象牙質)側の壁面では、その表面に沿って並ぶ明瞭な線維束が観察された(図7 c)。また、これらの線維束間には多数の間隙が認められた。

2. 同一研磨片の光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグラフィー・走査型電子顕微鏡による比較観察

次亜塩素酸-酸処理により生じる層板構造と、光学顕微鏡で観察される層板構造、及び石灰化度との関係を明らかにするため、同一研磨片を光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグ

ラフィー・走査型電子顕微鏡で比較観察した。

1) 無染色光学顕微鏡像

根尖側の厚い有細胞セメント質の無染色研磨標本では、多数のセメント小腔と2~5 μm 幅の明調な成長線に境された層板構造が認められた(図8 a, 9 a)。また、セメント質深部では、セメント-象牙境と垂直に走行する暗調なシャープピー線維を多量に含むシャープピー線維層が認められた。一部の試料では、明調な成長線がこのシャープピー線維層をさらに数層に分けていた。

2) コンタクトマイクロラジオグラフィー像

同一研磨標本のコンタクトマイクロラジオグラフィー像でも、X線吸収度の低い多数のセメント小腔と、X線吸収度の異なる層構造が認められた(図8 b)。光学顕微鏡像(図8 a)と比較すると、両者のセメント小腔の位置は一致した。そこで成長線と一致する石灰化構造を明らかにするため、光学顕微鏡像の成長線(図9 a)をトレースし、同一試料のコンタクトマイクロラジオグラフィー像(図9 b)に重ねた(図9 c, 破線)。すると、光学顕微鏡像の成長線の位置と走行は、X線吸収度の高い薄い層(図9 a, 9 b, a, b部分)にほぼ重なった。高X線吸収薄層の深(象牙質)側または、表面(歯根膜)側には、X線吸収度の低い薄い層が伴走している場合が多かった。また、コンタクトマイクロラジオグラフィー像で高X線吸収の薄層が不明瞭な部位では、成長線のトレースは高X線吸収層と低X線吸収層の境界線に重なった(図9 a, 9 b, c部分)。

成長線で境される層板のX線吸収度は、個々の層板で異なり、同一層板内のX線吸収度も連続的に変化していた。多くの層板のX線吸収度は、深側でやや低く表面側ではやや高くなる傾向が認められた。

最深部のシャープピー線維層のX線吸収度は、明瞭なシャープピー線維を持たない層板とほぼ同

じか、少し高かった。また、シャープピー線維の走行は、光学顕微鏡像と比較し不明瞭であったが、X線吸収度のやや低い構造がセメント-象牙境と垂直に走行していた。光学顕微鏡像で認められた、シャープピー線維層をさらに数層に分ける成長線は、一般的に不明瞭であった。しかし、部分的にはX線吸収度のやや低い薄層を伴った吸収度の高い成長線が明確に認められた。

3) 走査型電子顕微鏡像

光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグラフィで観察した同一研磨片を、次亜塩素酸ナトリウムで処理した後に、酸で処理（次亜塩素酸-酸処理）し走査型電子顕微鏡で観察した。処理によりセメント質の一部が溶出して生じた幅約1 μ mの溝状構造が歯根表面とほぼ平行に走行し、層板構造を境していた（図8c）。この層板の位置と走行は、同一試料の光学顕微鏡像（図8a）とコンタクトマイクロラジオグラフィ像（図8b）と類似していた。そこで、この層板を境する溝構造と成長線を比較するため、同一試料の光学顕微鏡像の成長線（図9a）をトレースし、走査型電子顕微鏡像（図9d）に重ねた（図9e、破線）。その結果、次亜塩素酸-酸処理により生じた層板を境する溝の位置と走行は、光学顕微鏡像の成長線の幅の中に入った。さらに、溝構造（図9d）のトレースをコンタクトマイクロラジオグラフィ像に重ねると（図9c、点線）、多くの溝構造は、成長線と一致する高X線吸収薄層の深側または表面側の低吸収薄層と重なった。

層板のX線吸収度と次亜塩素酸-酸処理によるセメント質の溶出の程度を同一層板内で比較すると、高X線吸収のセメント質部分に比べ、低X線吸収部分はわずかに溶出しやすい傾向が認められた（図9b、9d、c-d間の層板）。しかし、X線吸収度の異なる層板で比較すると、高X線吸収層板（図9b、c-d間）と低X線吸収層板（図9b、a-b間）は、同程度に平滑であ

り（図9d、c-d間とa-b間）、各層板のX線吸収度と溶出状態は相関していなかった。

最深部のシャープピー線維層は、処理により溶出したためやや粗であった。また、光学顕微鏡では明瞭であった、シャープピー線維層を数層に分ける成長線では、処理による溝形成が不明瞭であった。

3. 次亜塩素酸ナトリウム処理、酸処理によるセメント質の局所変化の観察

次亜塩素酸ナトリウム処理と続く酸処理により生じるセメント質の局所変化を明らかにするため、セメント質の一部を次亜塩素酸ナトリウムで処理し、光学顕微鏡像とコンタクトマイクロラジオグラフィ像を比較した。

一部をヴァーニッシュし、次亜塩素酸ナトリウム処理した研磨片を光学顕微鏡で観察すると、処理面では溝が成長線に沿って形成されていた（図10a）。また、セメント層板内では、浅い亀裂状の溝が認められた。コンタクトマイクロラジオグラフィ像では、処理部分は非処理部分と比べてセメント質のX線吸収度が低下していた（図10b）。X線吸収度の低下は、成長線と一致する高X線吸収薄層では少なく、その幅にも変化が認められなかった。X線吸収度の低い部分では、その低下がより大きく、特に成長線と一致する高X線吸収薄層に伴走する、低X線吸収層で著しい低下が認められた。そのために高X線吸収薄層がより明瞭となった。つまり、次亜塩素酸ナトリウム処理は、高X線吸収薄層よりも低X線吸収薄層に強く作用しセメント質を溶出していた。

さらに全面に酸処理を施し観察すると、光学顕微鏡像では処理面全体がエッチングされ、平滑化し、浅い亀裂状溝は不明瞭となった（図10c）。コンタクトマイクロラジオグラフィ像では、試料全体のX線吸収度がさらに低下した（図10d）。次亜塩素酸ナトリウム非処理部分では高X線吸収層と低X線吸収層の境界が不明瞭とな

る部分も認められた。しかし、次亜塩素酸ナトリウム処理部分では、X線の高吸収層、低吸収層の位置・幅等に変化がなかった。また、低X線吸収層がさらに吸収度を低下させ、高X線吸収層との境界がより明瞭となった部分も観察された。酸処理は、次亜塩素酸ナトリウム処理で特に作用を受けた部位により強く働いて、セメント質の溶出を増強していた。

IV. 考 察

1. セメント質の層板構造と線維性基質構造

セメント質は、一般にセメント細胞の有無により無細胞セメント質と有細胞セメント質に分けられる。また、線維性基質成分によるセメント質の分類も報告されている²⁴⁾。すなわち、線維を含まない無線維セメント質 (afibrillar cementum)、非固有線維 (シャープピー線維) のみを含む非固有線維セメント質 (extrinsic fiber cementum)、固有線維 (基質線維) のみを含む固有線維セメント質 (intrinsic fiber cementum) と、両線維成分を含む混合線維セメント質 (mixed fiber cementum) に分類されている。本研究ではこの分類を参考に、走査型電子顕微鏡で観察されたセメント層板を線維性基質成分により分類した。

歯頸側の薄い無細胞セメント質と、根尖側の多くの厚い有細胞セメント質最深处で観察された、シャープピー線維が主成分である層をシャープピー線維層とした。シャープピー線維層は、無細胞性で、セメント-象牙境に垂直な互いにほぼ平行するコラーゲン線維束で形成されていた。

層板構造を有する厚い有細胞セメント質で、シャープピー線維に垂直な基質線維が主成分である層を基質線維層とした。基質線維層では、基質線維が複雑に交差し網状に配列する部分と、基質線維束の横断面と縦断面が交互に並び基質線維束層板を作る部分が存在した。また、これらの線維束の間にセメント質の深淺方向に走行

する短い交差線維¹³⁾が認められた。歯の縦断・横断・接線方向の断面の透過型電子顕微鏡による観察で、交差線維は歯軸方向と輪状方向の基質線維束と連続し、移行していることが報告されている¹³⁾。今回観察された交差線維は、歯軸線維束 (縦断面) から分れた線維が浅側 (歯根表面側) に向かい、輪状線維束 (横断面) を境するように上行し、その輪状線維束の浅側に重なる歯軸線維束 (縦断面) に合流していた。輪状線維束から分れた交差線維が歯軸線維束を横断する像も観察された。これら交差線維と基質線維層中のシャープピー線維を比較するため、光学顕微鏡像で複数の層板を貫くシャープピー線維が明瞭な試料を、走査型電子顕微鏡で観察した。シャープピー線維束はその一部を研磨面に露出した太い棒状構造で、周囲の基質線維と連絡する線維は認められず、交差線維とは明らかに異なっていた。これらから、交差線維は基質線維層において、歯軸線維束と輪状線維束を深淺方向につなぐ基質線維であると考えられる。

セメント質中のシャープピー線維と基質線維の比率については、歯根表面の走査型電子顕微鏡観察によると、根尖部のごく一部を除き、基質線維が多量に存在する部分でも、15-40%がシャープピー線維であるとされている¹⁶⁾。また、歯根表面と平行に切り出した切片の光学顕微鏡観察では、シャープピー線維の分布は正常機能歯でも歯頸部 (28本/1,000 μm^2) から根尖部 (1.0本/1,000 μm^2) にかけて減少することが報告されている²⁵⁾。シャープピー線維と基質線維の割合は層板によって、また、同一層板内でも部位により異なっていると考えられる。今後さらに、層板中のシャープピー線維と基質線維の分布・比率の変化、両線維成分の配列、特に交差線維との関係について詳細に観察し、その関係と配列の意義を明らかにする必要がある。

2. セメント質の成長線の構造

セメント質の成長線は、光学顕微鏡では明瞭

に観察され¹⁻⁷⁾、セメント質の形成に形成期と休止期があるために生じた休止線であるとされている^{2,4-7)}。セメント質の石灰化度は急速に形成される部位では低く、形成速度が遅い部位では高くなる。そのため、高石灰化の薄層として観察される成長線は、休止期が長いために石灰化度が上昇して形成された構造と考えられている^{1,4)}。しかし、セメント質の成長線は超微細構造レベルで識別が困難とされ²⁰⁾、本研究においても、光学顕微鏡下で明瞭な層板構造が観察できる試料を、酸処理し走査型電子顕微鏡で観察しても層板構造は認められなかった。本研究は、セメント質研磨面を次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理し、さらに酸などで脱灰する（次亜塩素酸-酸処理）と、セメント質の一部が溶出して生じた溝に境される層板構造が観察されることを初めて明らかにした。次亜塩素酸ナトリウムは強力な脱有機作用を有し、単独で硬組織に付着した軟組織やその中の未石灰化部分の除去に用いられる^{16,26)}。そのため、次亜塩素酸-酸処理による溝構造の形成は、石灰化の悪いセメント質を次亜塩素酸ナトリウムが溶出するためと考えられた。そこで次亜塩素酸-酸処理による層板構造・光学顕微鏡の層板構造とその石灰化度との関係を検討するため、同一研磨試料を光学顕微鏡・コンタクトマイクロラジオグラフィー・走査型電子顕微鏡で比較観察した。

成長線は光学顕微鏡像では、2～5 μm 幅の明調または暗調な帯状構造として観察された。この成長線をトレースしコンタクトマイクロラジオグラフィー像に重ねた。すると、成長線的位置と走行は薄い高X線吸収層すなわち、薄い高石灰化層とほぼ一致した。また、この高石灰化薄層には低石灰化薄層が伴走していることが多かった。他方、コンタクトマイクロラジオグラフィー像で明瞭な高石灰化薄層である休止線が認められない部位では、成長線は石灰化度の異なる層板の境界線として認められた。すなわち、

観察されたこれらの成長線は石灰化度の高い休止線が主体であるが、一部では石灰化度が異なる層板の境界面が試料の厚みやエッジ効果等により成長線として観察されることが明かとなった。成長線はセメント質形成の休止期に石灰化度が上昇したため、成長線を境に石灰化度が急激に変化し生じた、石灰化過程での断層面でもあると考えられる。

セメント質研磨面を次亜塩素酸-酸処理し走査型電子顕微鏡で観察すると、歯根表面と平行する溝構造が層板を境していた。次亜塩素酸ナトリウム処理のみを行なった研磨片の光学顕微鏡像では、成長線に沿った浅い溝が認められた。コンタクトマイクロラジオグラフィー像では、成長線と一致する高石灰化薄層のX線吸収度もやや低下したが、その幅や位置には変動がなかった。しかし、低石灰化セメント質、特に高石灰化薄層に伴走する低石灰化層のX線吸収度が著しく低下していた。これらの結果より、溝構造は次亜塩素酸ナトリウムの脱有機作用により、高石灰化の成長線に伴走する低石灰化薄層の線維性基質が最初に溶出されるため生じた構造と考えられる。さらに酸処理した試料のコンタクトマイクロラジオグラフィー像の次亜塩素酸ナトリウム非処理部分を観察すると、高石灰化層と低石灰化層の境界が不明瞭となる部分が多かった。しかし、処理部分では高石灰化層と低石灰化層の境界部がより明瞭となることも認められた。すなわち、酸処理は次亜塩素酸ナトリウム処理で生じたセメント質の変化をより強調したと考えられる。次亜塩素酸-酸処理により形成される溝構造は、次亜塩素酸ナトリウム処理が、セメント質の低石灰化部分、特に高石灰化の成長線に伴走する低石灰化部分を強く溶出し、酸処理がその作用を増強するために生じた構造と考えられる。しかし、走査型電子顕微鏡像の溝構造のトレースは、コンタクトマイクロラジオグラフィー像の高石灰化の成長線に伴

走する低石灰化部分と完全には重ならなかった。この理由は、コンタクトマイクロラジオグラフィ像は研磨試料の厚さに含まれる全層のX線吸収の総和であるのに対し、走査型電子顕微鏡像の溝は試料表面（研磨面）に生じた構造であるためと考えられる。そのため、本研究の結果から、溝構造が高石灰化の成長線の深側（象牙質側）の低石灰化薄層に生じるのか、表面側（歯根膜側）のそれに生じるのかは明らかにはできなかった。

シャーピー線維層と基質線維層の次亜塩素酸一酸処理による溶出状態を比較すると、シャーピー線維層はより石灰化度の低い基質線維層と比べ粗であり、溶出されやすかった。また、重層するシャーピー線維層を境する成長線では、基質線維層間の成長線に比べ、溝形成が不明瞭であった。両線維層の線維配列を比較すると、シャーピー線維層ではセメントー象牙境に垂直な線維が規則的に配列していた。一方、基質線維層ではシャーピー線維に直行し、歯根表面と平行する基質線維が複雑に交差し、網目状に配列していた。研磨面に露出したシャーピー線維層の線維は、その配列から周囲の線維と交差・結合が少ないと考えられ、次亜塩素酸ナトリウム処理で線維の一部が切断されただけでも、研磨片より流出しやすいと推測される。そのためシャーピー線維層では線維性基質が溶出されやすく粗となる。そして、重層するシャーピー線維層の成長線に沿った低石灰化部分が次亜塩素酸ナトリウムにより脱有機されても、周囲の線維が容易に流出するために溝構造が不明瞭になると考えられる。

明瞭な溝が形成される基質線維層では、溝の深側（象牙質側）の壁面は比較的平滑で線維構造が明瞭に観察されたが、表面側（歯根膜側）では線維の断端と、不定形基質に覆われた線維が認められた。このような壁面構造の差異は、溝すなわち成長線を境とした線維配列や不定形

基質量の変化を反映していると考えられる。ラットの歯槽骨の接合線や²⁷⁾、セメントー象牙境のセメント質最内層^{28,29)}を観察した報告によると、末端のほぐれたシャーピー線維が細網状に配置し、その間を多量の糖タンパクが埋めていることが明らかにされている。そして、ヒト歯槽骨の新たに形成された層板の休止線附近では、配列の乱れた細い線維が比較的疎に分布することが報告されている³⁰⁾。また、ヒトの歯の研磨試料で糖タンパクの染色を行なうと、セメント質の成長線のパターンと糖タンパク染色のパターンがほぼ一致していることも明らかにされている⁷⁾。さらにヒト歯槽骨のコンタクトマイクロラジオグラフィ像で石灰化度が高い部分はアパタイト結晶が増加し、コラーゲン細線維や細線維間に結晶が密に沈着していることが透過型電子顕微鏡観察より報告されている³¹⁾。結晶が密に沈着したコラーゲン細線維は、線維の輪郭や、コラーゲン線維の64nmごとの横紋構造も不明瞭となり、さらには細線維がほぐれ微細なフィラメント状を呈することも報告されている¹³⁾。次亜塩素酸一酸処理により溶出した溝部分は、不規則に配列する細い線維や、ほぐれた線維が多く存在し、その間を糖タンパクが埋めていた部位であり、微細構造が変化したコラーゲン細線維も多数存在していると推測される。成長線は、ここを境に線維性基質配列が変化する、線維配列・微細構造の断層でもあると思われる。

以上の結果から、成長線は高石灰化の休止線が主体であるが、その一部では石灰化度が異なる層板の境界面が試料の厚みやエッジ効果等により成長線として観察される構造であることが、さらに成長線は石灰化度の断層であることが明らかとなった。また、次亜塩素酸一酸処理によるセメント質の溶出は層板構造の石灰化度と必ずしも相関しないこと、層板構造の溶出は、線維成分が複雑に配列する基質線維層より、配列

が単純なシャープー線維層の方がより溶出しやすいこと、処理により形成された溝の壁面構造の差異などから、成長線は線維性基質の配列や無定形基質量なども変化する基質構造の断層面でもあると推測された。このような成長線を境とした断層構造や層板による線維性基質成分の変化は、歯根面齲蝕の病態やその進行、また、歯周病罹患根面の汚染セメント質の深さや広がりにも影響を与えると考えられ、さらに治療方法を選択する場合にも考慮する必要があると思われる。

V. 結論

ヒトの臼歯セメント質の層板構造と石灰化度の変化、および層板構造と線維性基質構造の関係を明らかにするために、セメント質研磨面を光学顕微鏡、コンタクトマイクロラジオグラフィーと、走査型電子顕微鏡で比較観察し、以下の結果を得た。

1. 光学顕微鏡像で層板が認められる研磨片を酸で処理し、走査型電子顕微鏡で観察しても明瞭な層板構造は認められなかった。
2. 研磨面を次亜塩素酸ナトリウム溶液で処理後、酸で処理（次亜塩素酸－酸処理）し走査型電子顕微鏡で観察すると、セメント質の一部が溶出して生じた、歯根表面と平行する幅の狭い溝構造と、溶出されにくい幅の広い部分が交互に重なる層板構造が初めて認められた。
3. これらの層板はその線維性基質成分により、シャープー線維が主成分のシャープー線維層と、基質線維が主成分の基質線維層に分けられた。
4. シャープー線維層は、セメント－象牙境に垂直なシャープー線維がほぼ平行に並び、次亜塩素酸－酸処理を施すと象牙質や基質線維層よりも溶出量が多いため窪んでいた。
5. 基質線維層では、基質線維束である歯軸線維と輪状線維の間に、セメント質の深淺方向に

走る短い交差線維が認められた。

6. 交差線維は、歯軸線維・輪状線維と連続しており、これらをセメント質の深淺方向につなぐ基質線維であると考えられる。
7. 成長線は光学顕微鏡では2～5 μ m幅の明調または暗調な帯状構造であった。
8. 光学顕微鏡像の成長線は、コンタクトマイクロラジオグラフィー像の薄い高石灰化層とほぼ一致した。この高石灰化薄層には低石灰化薄層が伴走している場合が多かった。
9. 薄い高石灰化層である成長線が不明瞭な部分では、成長線は石灰化度の異なる層板の境界線と一致した。すなわち成長線は、一種の石灰化過程での断層構造と考えられた。
10. 光学顕微鏡像の成長線を走査型電子顕微鏡像に重ねると、溝構造は成長線の幅の中に入った。溝構造をコンタクトマイクロラジオグラフィー像に重ねると、多くの溝構造は成長線である高石灰化薄層に伴走する低石灰化薄層と重なった。
11. 次亜塩素酸ナトリウム処理のみを施した試料のコンタクトマイクロラジオグラフィー像では、特に成長線に伴走する低石灰化薄層のX線吸収度が大きく低下した。これより、次亜塩素酸ナトリウム処理は成長線に伴走する低石灰化部分に最初に作用し、強く腐蝕するものと考えられた。
12. セメント層板の次亜塩素酸－酸処理による溶出状態は、その石灰化度と必ずしも相関していなかった。
13. 次亜塩素酸－酸処理によるシャープー線維層の溶出は、より低石灰化の基質線維層と比較して多かった。また、シャープー線維層内の成長線では、次亜塩素酸－酸処理による溝形成が不明瞭であった。
14. 溝構造の象牙質側の壁面は比較的平滑で線維構造が明瞭であったが、歯根表面側の壁面では突出した線維束の断端と、不定形物質に覆わ

れた輪郭の不明瞭な線維が観察された。

以上の観察結果より、セメント質の成長線は石灰化度の断層面であり、次亜塩素酸一酸処理がこの断層面に作用し溝を形成することが明らかとなった。さらに、セメント質の溶出の程度は線維性基質と無定形基質の量、線維性基質の配列や構造の変化も関係していることが示唆され、成長線は石灰化度の断層面であると同時に、線維性基質の配列の断層面でもあると推測された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究の機会を与えてくださり、終始懇切でいねいな御指導と御校閲を賜りました、東日本学園大学歯学部口腔解剖学第一講座矢嶋俊彦教授に深甚なる謝意を表します。また、本稿をまとめるにあたり、御教示と御助言を頂きました、東日本学園大学歯学部口腔解剖学第二講座武田正子教授、東日本学園大学歯学部歯科保存学第一講座小鷲悠典教授に感謝いたします。

参 考 文 献

1. Hopewell-Smith, A. : Concerning human cementum. *J.Dent.Res.*, 2:59-76, 1920.
2. Kronfeld, R. : The biology of cementum. *J. Am.Dent.Assoc.*, 25:1451-1461, 1938.
3. Levey, R.J. : A modified Gallego's iron fuchsin stain as a differential stain for cementum. *J.Dent.Res.*, 35:491-493, 1956.
4. Soni, N.N., van Huysen, G. and Swenson, H.M. : A microradiographic and X-ray densitometric study of cementum. *J.Periodontol.*, 33:372-378, 1962.
5. Selvig, K.A. : The fine structure of human cementum. *Acta Odontol.Scand.*, 23:423-441, 1965.
6. Furseth, R. and Johansen, E. : A microradiographic comparison of sound and carious human dental cementum. *Archs.Oral Biol.*, 13:1197-1206, 1968.
7. 藤井 仁毅 : セメント質の石灰化像. *歯学*, 57:570-592, 1969.
8. Giansanti, J.S. : The pattern and width of the collagen bundles in bone and cementum. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 30:508-514, 1970.
9. Gerould, C.H. : Ultramicrostructures of the human tooth as revealed by the electron microscope. *J.Dent.Res.*, 23:239-245, 1944.
10. Awazawa, Y. : Electron microscopy of human cementum. *J.Nihon Univ.Sch.Dent.*, 5:127-137, 1963.
11. Furseth, R. : The fine structure of acellular cementum in young human premolars. *Scand.J.Dent.Res.*, 82:437-441, 1974.
12. Furseth, R. : The fine structure of the cellular cementum of young human teeth. *Archs.Oral Biol.*, 14:1147-1158, 1969.
13. 陳 妙卿 : ヒトセメント質における基質線維の基本構造に関する観察. *口病誌*, 54:635-675, 1987.
14. Boyde, A. and Jones, S.J. : Scanning electron microscopy of cementum and Sharpey fibre bone. *Z. Zellforsch.Mikrosk.Anat.*, 92:536-548, 1968.
15. 徳永純一, 森淑子 : 走査電子顕微鏡による人歯セメント質表面の微細構造. *歯基礎誌*, 11:13-23, 1969.
16. Jones, S.J. and Boyde, A. : A study of human root cementum surfaces as prepared for and examined in the scanning electron microscope. *Z.Zellforsch.Mikrosk.Anat.*, 130:318-337, 1972.
17. 鯉坂正彦 : 走査型電子鏡によるカイウサギのセメント質の観察. *日大歯学*, 47:382-388, 1973.
18. 小林譲 : 走査型電子鏡によるヒトの歯のセメント小腔の観察. *日大歯学*, 50:31-34, 1976.
19. Ismail, O.S. and Weber, D.F. : Light and scanning electron microscopic observations of the canalicular system in human cellular cementum. *Anat.Rec.*, 222:121-127, 1988.
20. Armitage, G.C. : Cementum, In: *Orban's Oral Histology and Embryology*. 9th eds. Bhaskar, S.N. Ed., pp.180-203, Mosby, St. Louis, 1980.
21. Ohtani, O. : Three-dimensional organization of the connective tissue fibers of the human pancreas: A scanning electron microscopic study of NaOH treated-tissues. *Arch.Histol.Jap.*, 50:557-566, 1987.
22. Murakami, T. : A revised tannin-osmium

- method for non-coated scanning electron microscope specimens. *Arch.Histol.Jap.*, 36: 189-193, 1974.
23. Inoue, T. and Osatake, H.: A new drying method of biological specimens for scanning electron microscopy: The t-butyl alcohol freeze-drying method. *Arch.Histol.Cytol.*, 51: 53-59, 1988.
24. Jones, S.J.: Cement (Dental Tissues), In: *Dental Anatomy and Embryology*, Osborn, J. W. Ed., pp.193-205, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1981.
25. 井上 冒幸: 歯根セメント質の組織学的構造に現われた機能的影響について. *日本補綴学誌*, 4:124-146, 1960.
26. 水城 晴美: ヒト下顎歯槽骨内壁における線維骨の構造に関する組織学的観察. *口病誌*, 46:65-104, 1979.
27. Kurihara, S. and Enlow, D.H.: An electron microscopic study of attachments between periodontal fibers and bone during alveolar remodeling. *Am.J.Orthod.*, 77:516-531, 1980.
28. Yamamoto, T.: The innermost layer of cementum in rat molars: Its ultrastructure, development, and calcification. *Arch.Histol.Jap.*, 49:459-481, 1986.
29. Yamamoto, T. and Wakita, M.: Initial attachment of principal fibers to the root dentin surface in rat molars. *J.Periodont.Res.*, 25:113-119, 1990.
30. 渡辺 緯津子: ヒト下顎歯槽骨における休止線ならびに接合線の構造上の特徴に関する観察. *口病誌*, 52:397-437, 1985.
31. 西川 英次: ヒト下顎歯槽骨における層板骨の基本構造と石灰化度の差に関する観察. *口病誌*, 51: 238-278, 1984.
32. 松尾 朗, 矢嶋 俊彦: セメント質の線維性基質と層板構造. *日歯周誌*, 32:140-149, 1990.
33. 松尾 朗, 矢嶋 俊彦: セメント層板と成長線の光学顕微鏡, 走査型電子顕微鏡とマイクロラジオグラフィによる比較観察. *歯基礎誌*, 34:171-180, 1992.

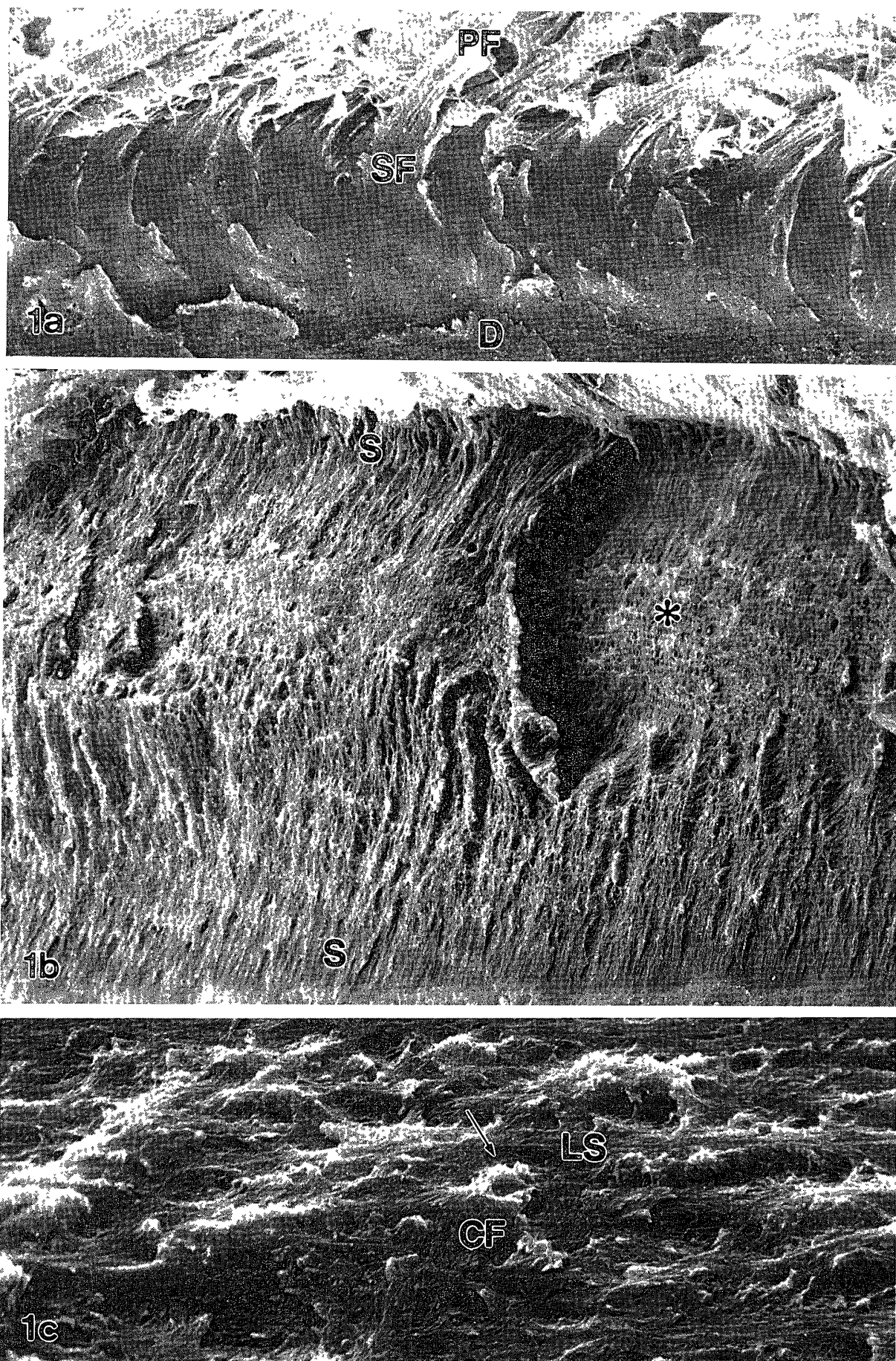
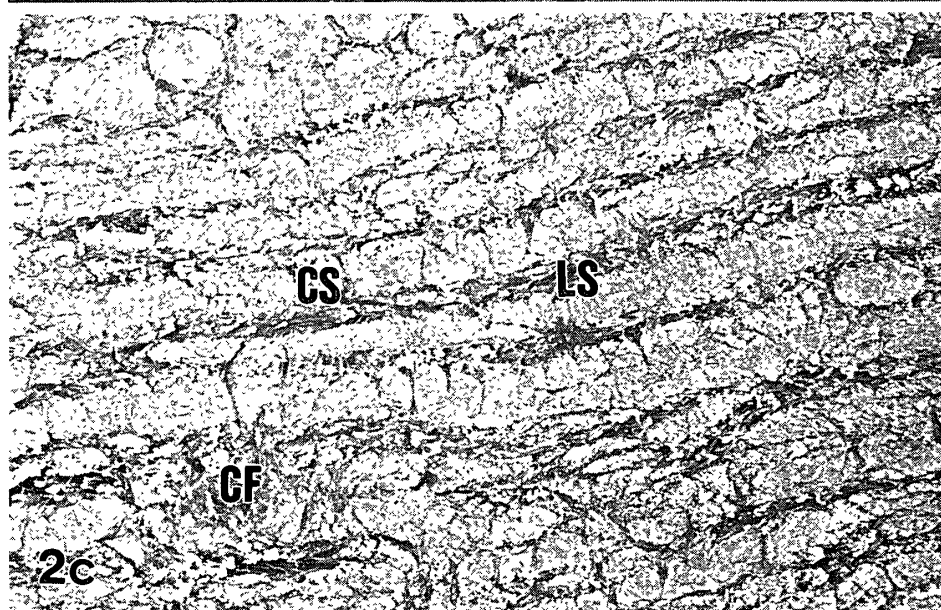
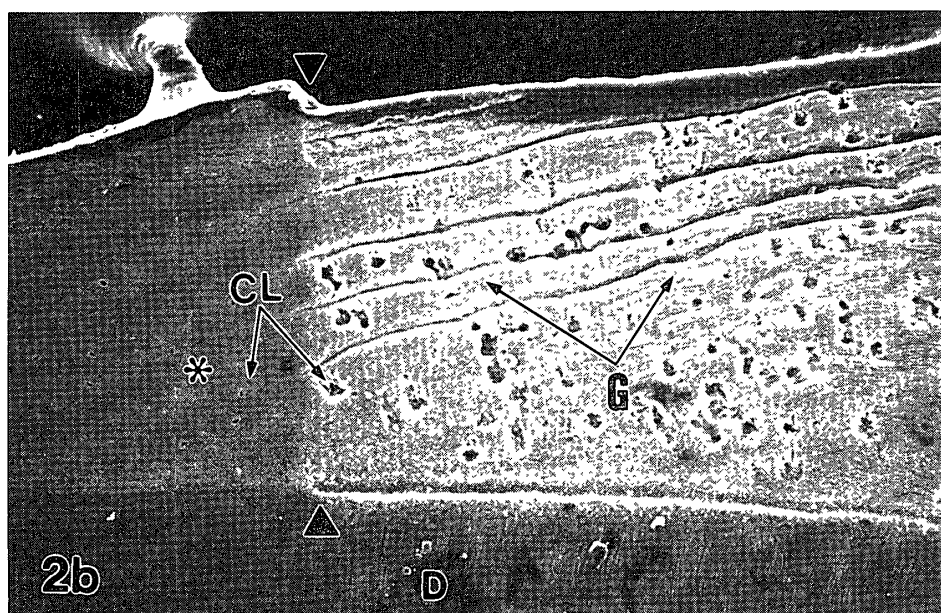
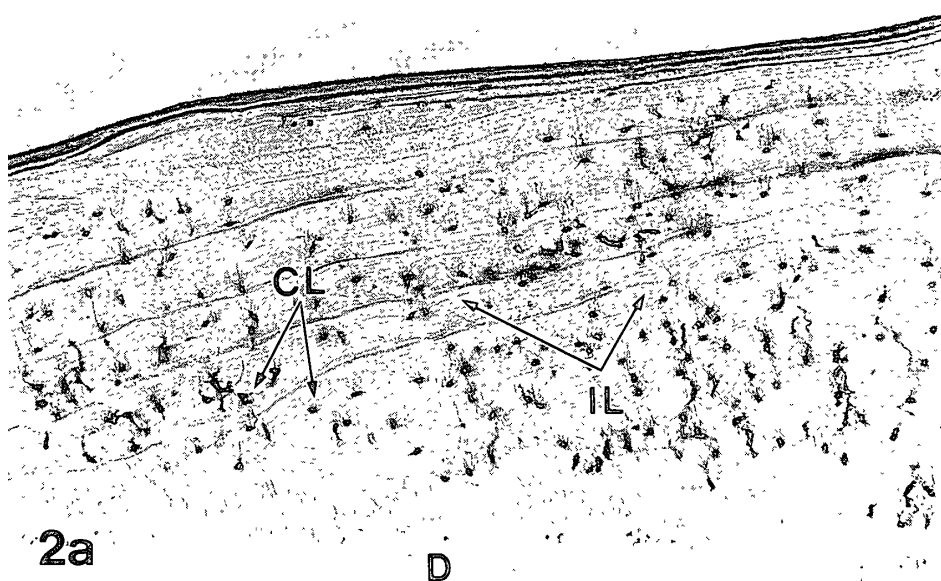


図1
(206)



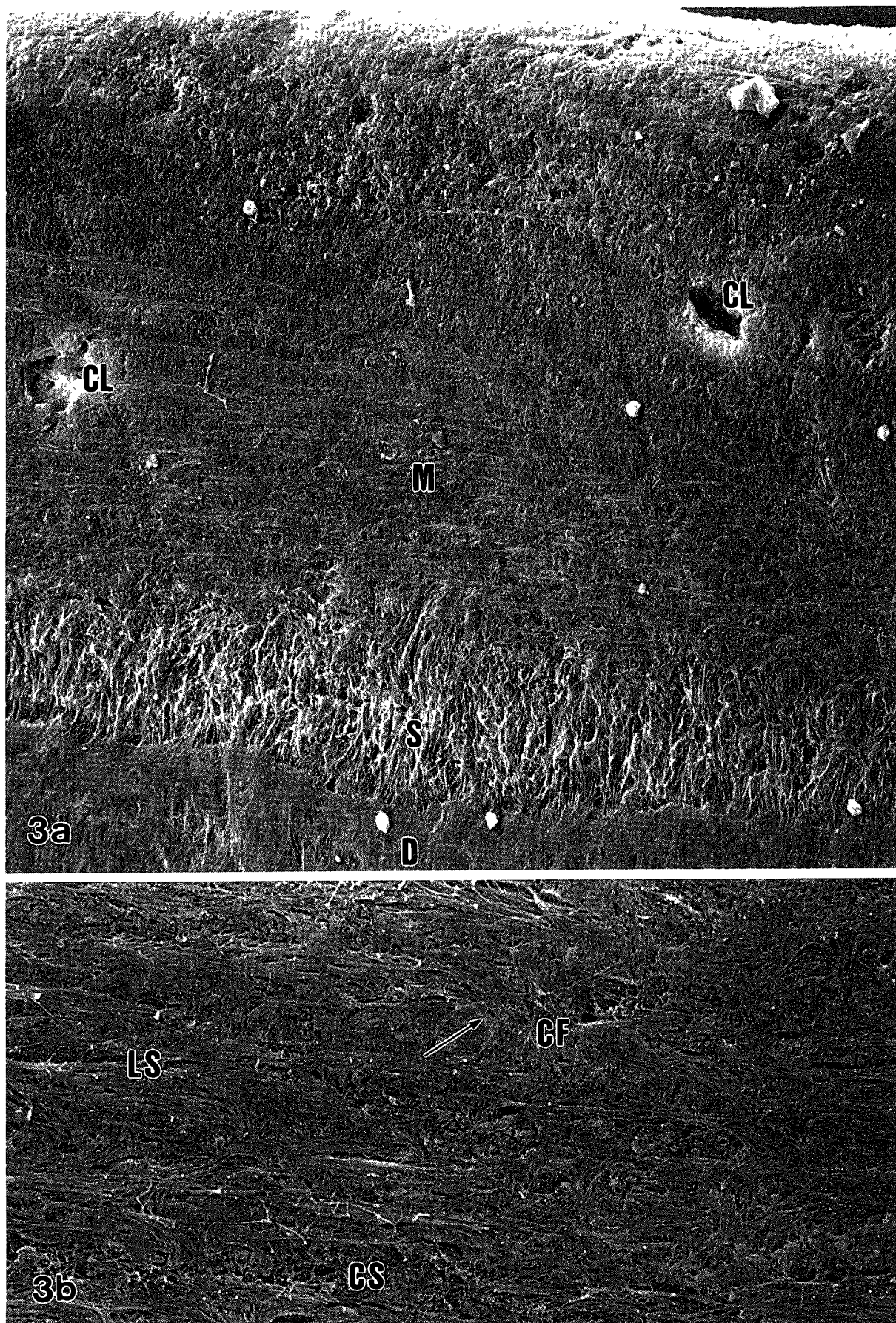


图3

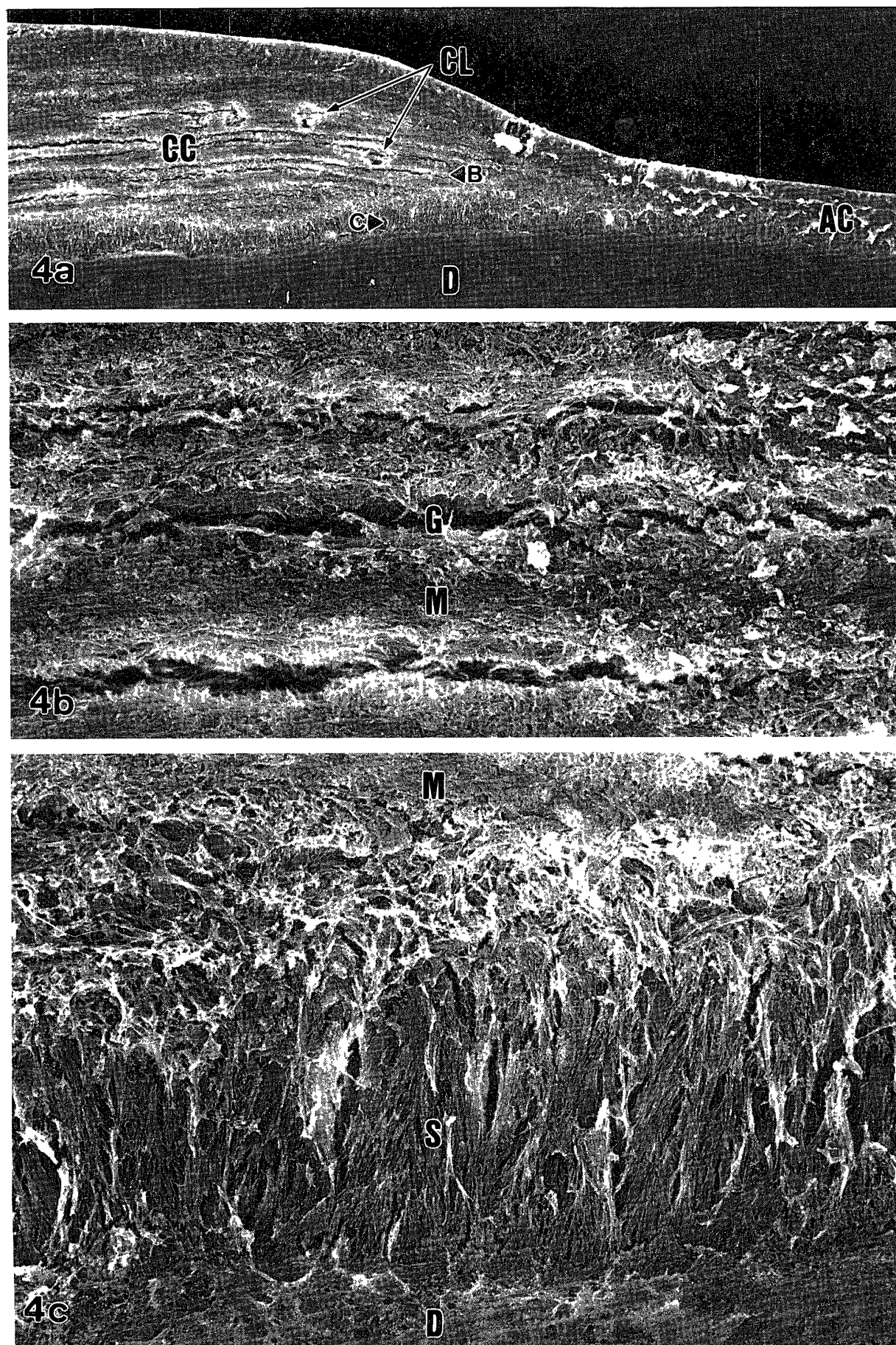


図4
(209)

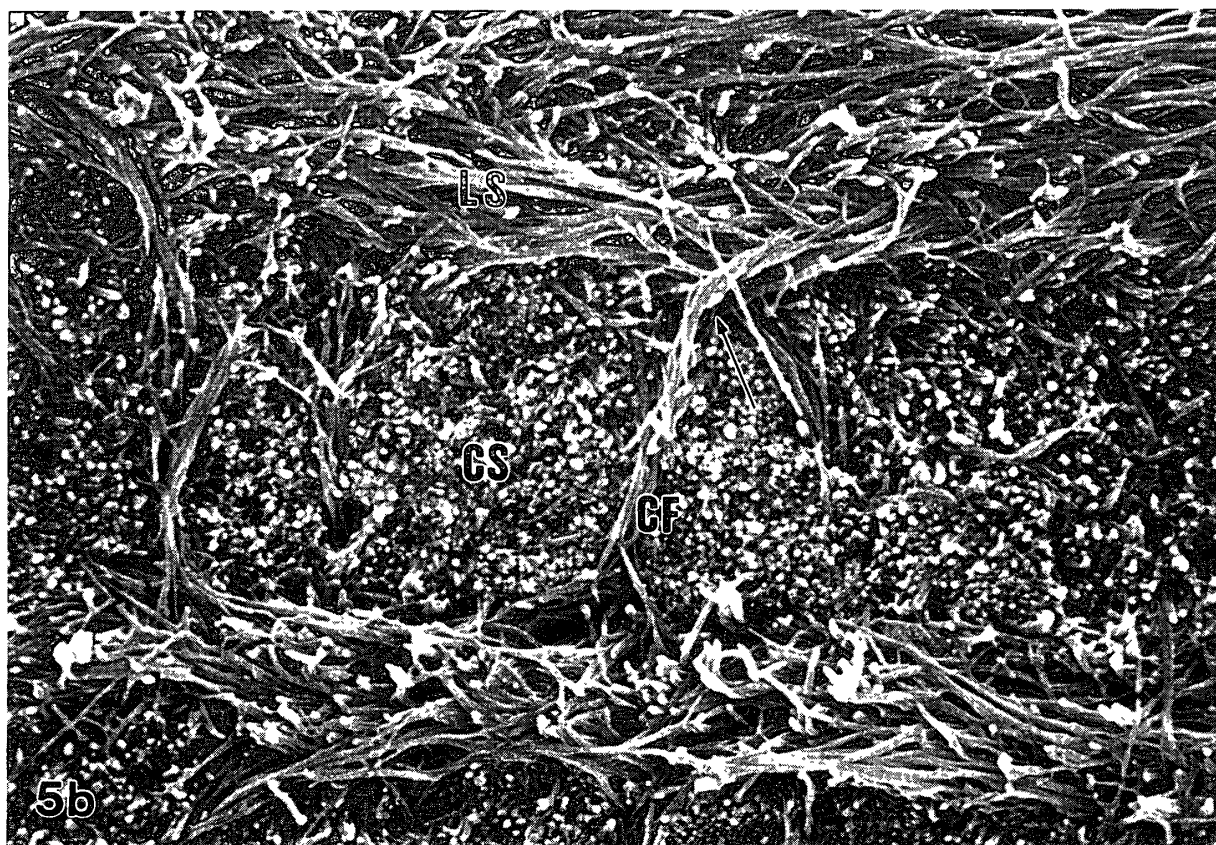


図5
(210)

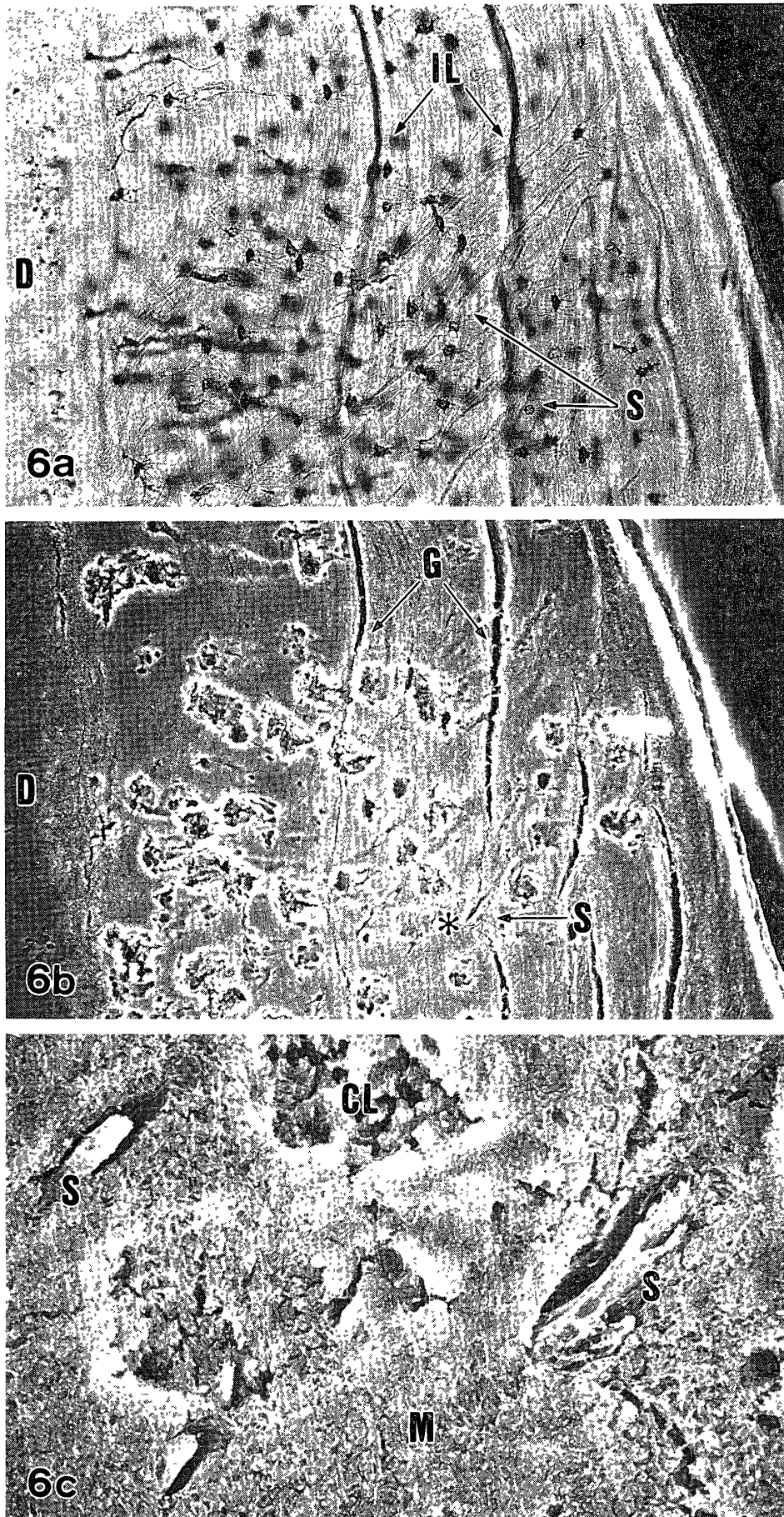
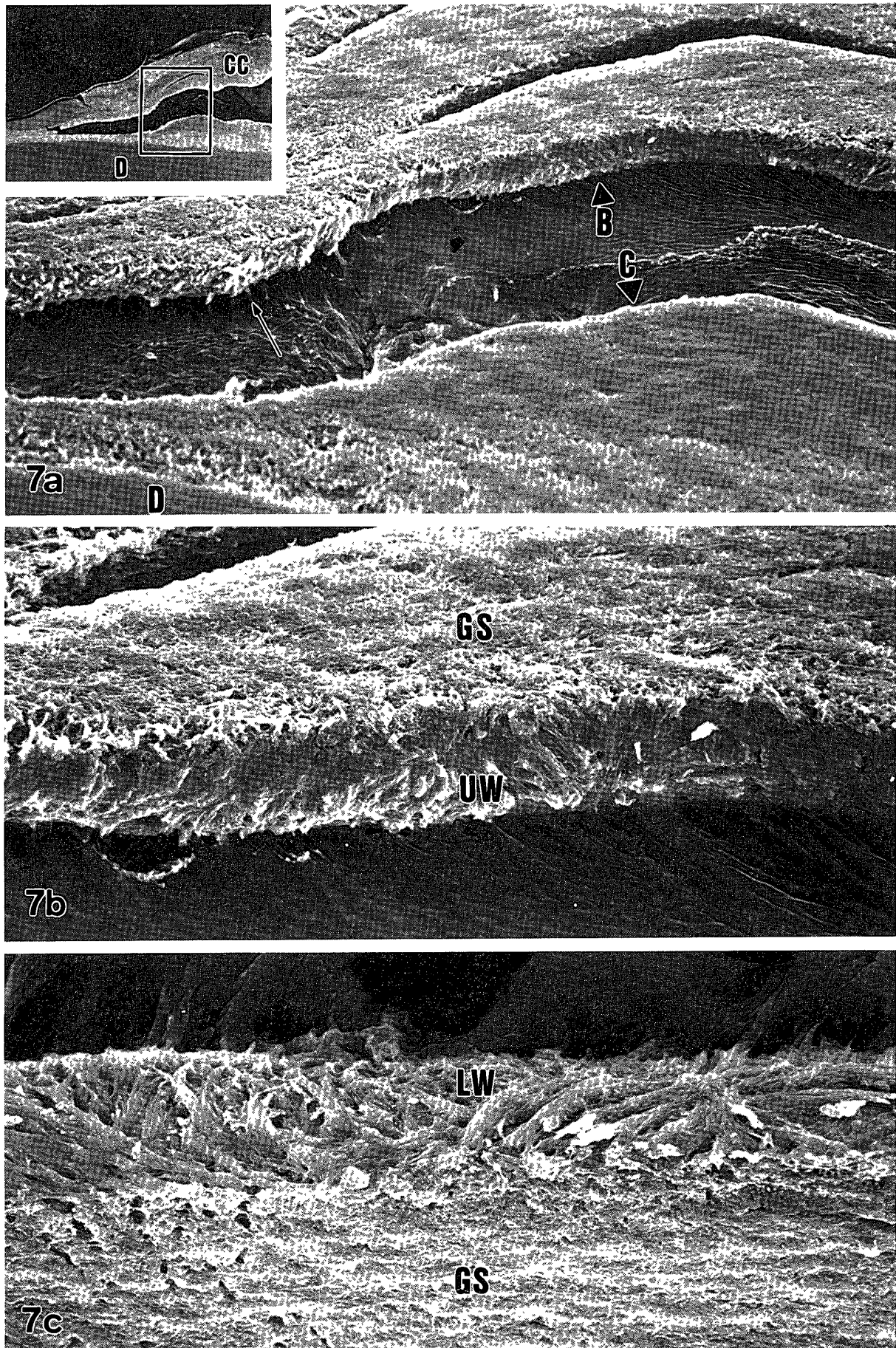


図6
(211)



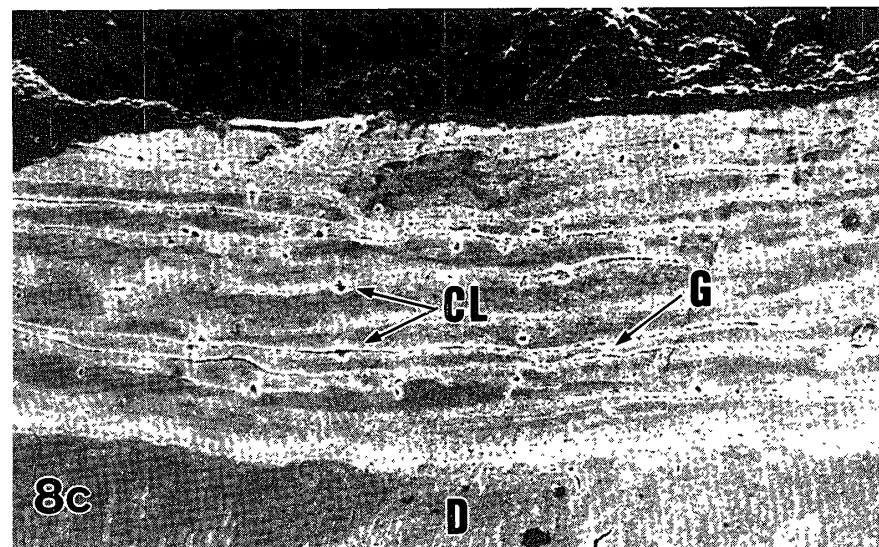
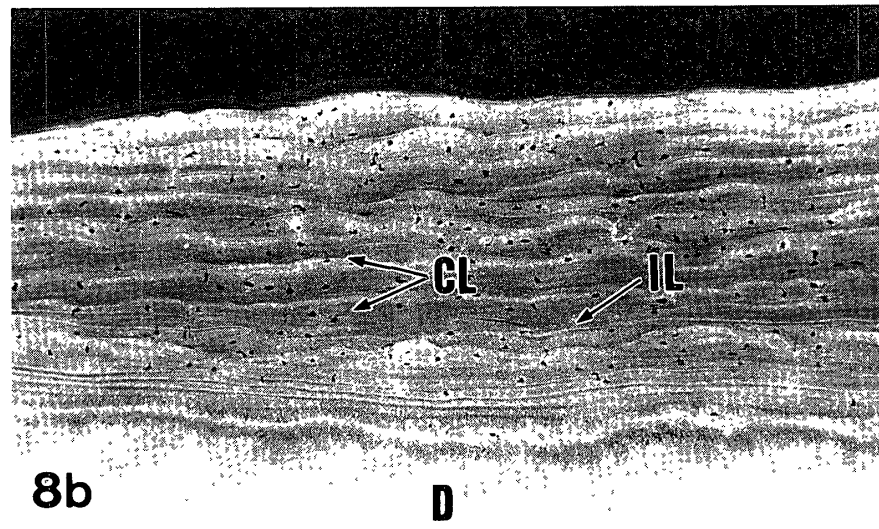
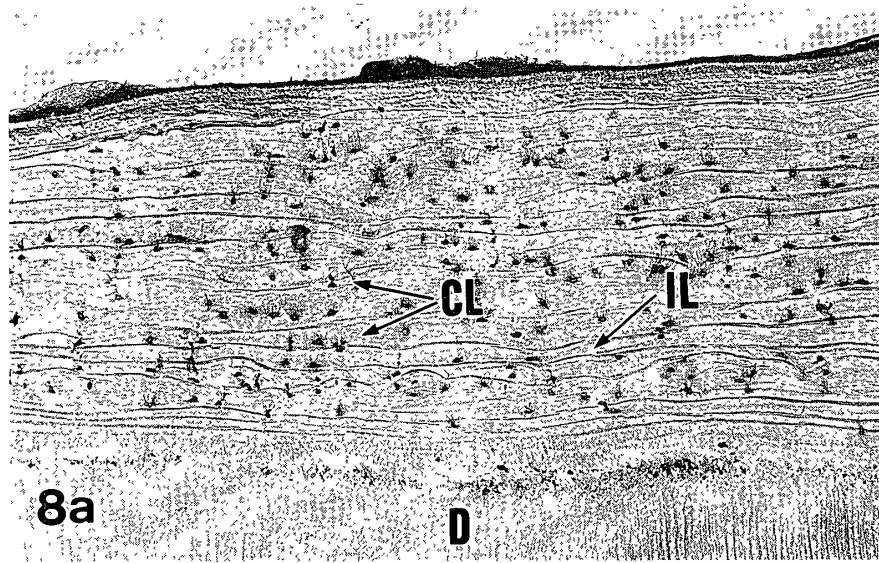


図8

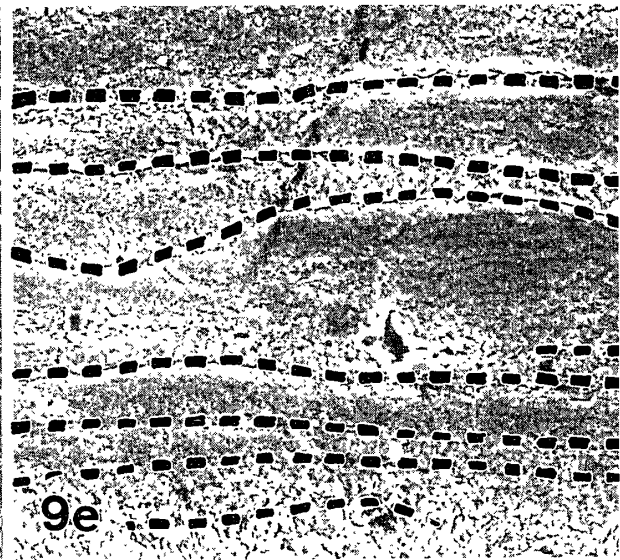
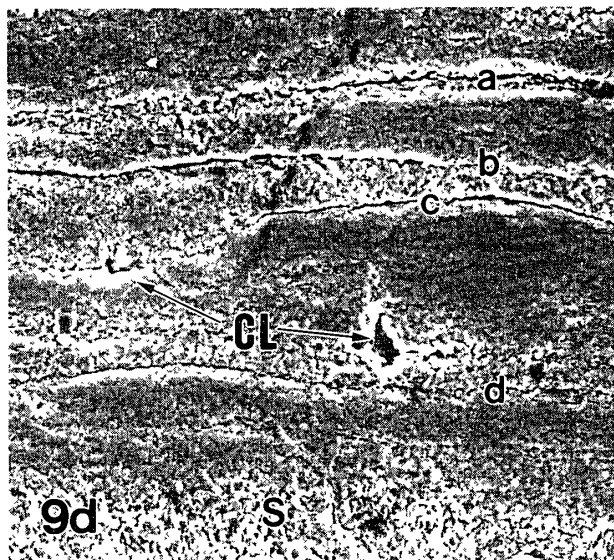
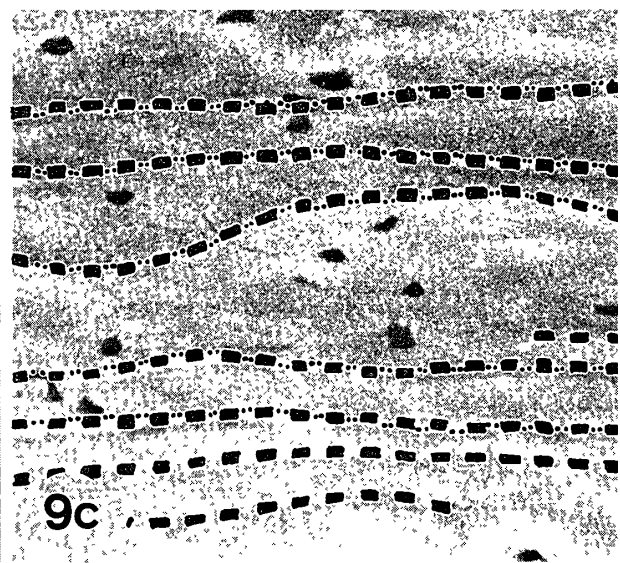
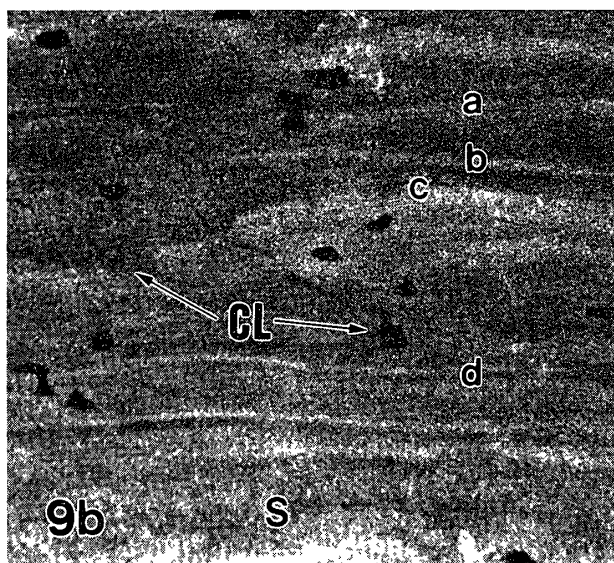
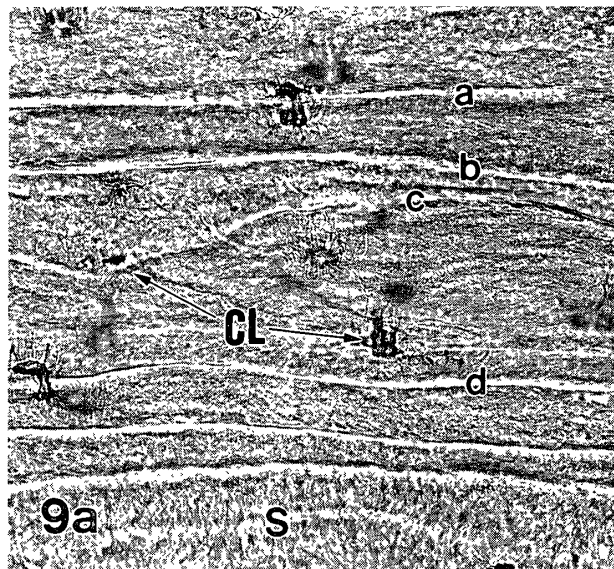


図9
(214)

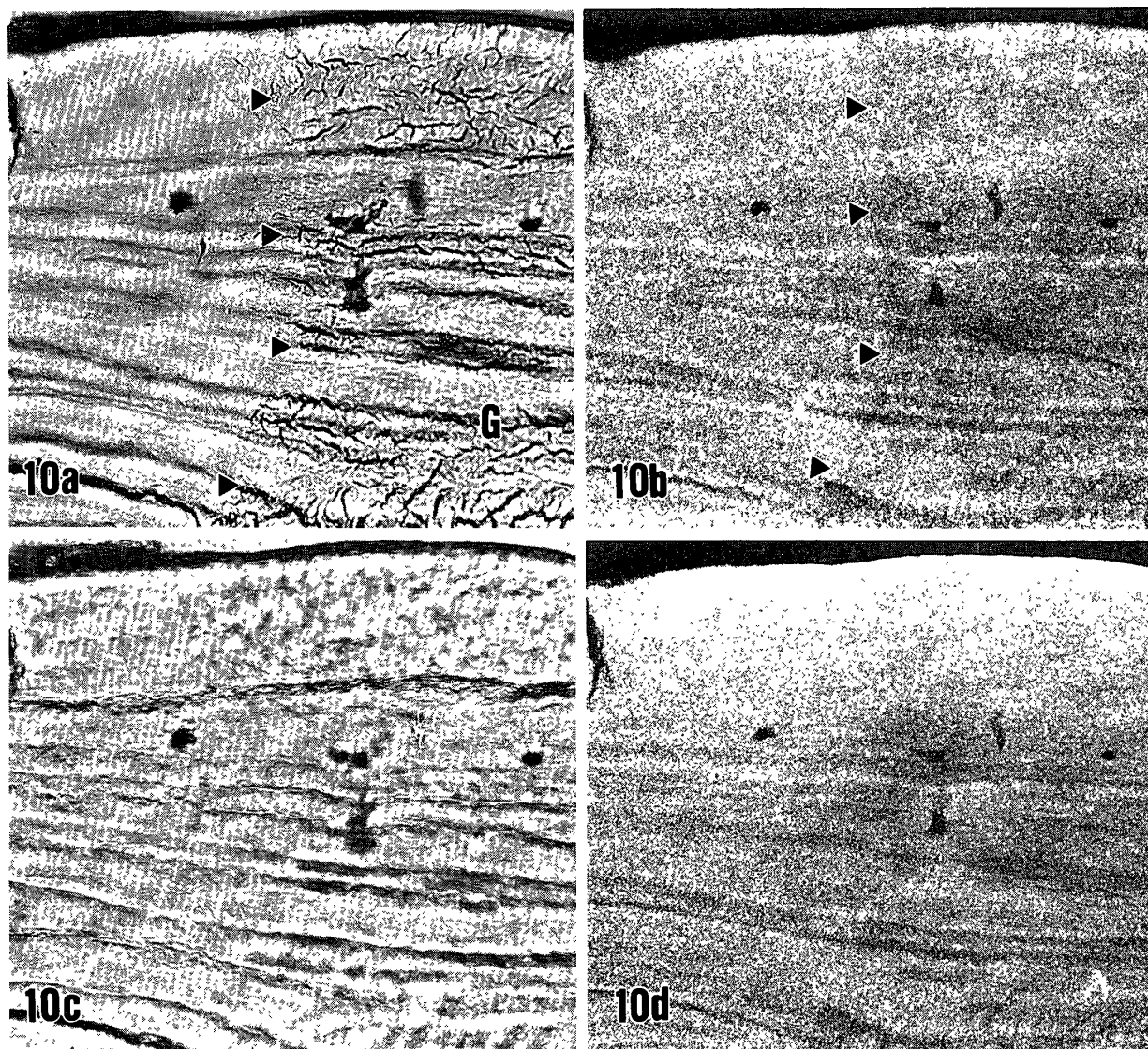


図10

付 図 説 明

図1 凍結切断,酸処理試料の走査型電子顕微鏡像。(文献32より引用)。

- a 歯頸側の薄い無細胞セメント質。歯周靱帯の主線維束 (PF) はセメント質に埋入しシャープピー線維束 (SF) となっている。D:象牙質。X 2,600。
- b 根尖側の厚い有細胞セメント質。セメント質表層と深層のシャープピー線維層 (S) に挟まれて、シャープピー線維に直交する層構造 (*) が認められる。X 350。
- c シャープピー線維に直交する層構造(図bの*部分)の拡大像。歯根表面に平行する縦断された細い基質線維束 (LS) が層構造を形成している。この線維束に直交する交差線維 (CF) と、横断もしくは斜断された線維束の突出 (矢印) が認められる。切断面は

平滑でなく、これらの線維相互の関係は不明瞭である。X 3,400。

図2 同一研磨試料の光学顕微鏡像と走査型電子顕微鏡像の比較。D:象牙質。

- a 有細胞セメント質の無染色光学顕微鏡像。多数のセメント小腔 (CL) と成長線 (IL) が認められる。X 75。
- b 図aの走査型電子顕微鏡像。酸処理 (矢尻より左側部) のみでは光学顕微鏡像のような層板構造は不明瞭である。次亜塩素酸 (10分) - 酸処理面 (矢尻より右側部) では光学顕微鏡像の成長線 (図aのIL) の位置に溝 (G) が形成されている。X 75。
- c 基質線維層 (図bの*部分) の拡大像。研磨面と垂直な歯を輪状に取り巻く線維束 (輪状線維束) の

横断面 (CS) と, 歯軸方向に配列する線維束 (歯軸線維束) の縦断面 (LS) が規則的に重なっている。セメント質の深浅方向に走る短い交差線維 (CF) が線維束の横断面の間に認められる。X 1,900。

図3 根尖側の厚い有細胞セメント質。走査型電子顕微鏡像。研磨, 酸処理。(文献32より引用)。

- a セメント質最深部はシャープピー線維層 (S) が, その外層はセメント質表面まで基質線維層 (M) が認められる。光学顕微鏡で観察されるような層板構造は不明瞭。CL: セメント小腔, D: 象牙質。X 900。
- b 図 a の基質線維層の拡大像。歯軸線維束の縦断面 (LS) と, 輪状線維束の横断面 (CS) が認められるが, 図 2 c と比べ不規則に配列している。セメント質深部から浅部へ向う交差線維 (CF) は, 歯軸線維束に連絡している (矢印)。X 3,000。

図4 セメント層板と線維性基質の構造。走査型電子顕微鏡像。次亜塩素酸 (60分) 一酸処理試料。(文献32より引用)。

- a 薄い無細胞セメント質 (AC) と厚い有細胞セメント質 (CC)。厚い有細胞セメント質では溝 (G) に境された層構造が明瞭である。矢尻 B, C は図 b, c での拡大位置を示している。CL: セメント小腔, D: 象牙質, S: シャープピー線維層。X 150。
- b 図 a の矢尻 B 部分の拡大像。各基質線維層 (M) は処理により生じた幅の狭い溝 (G) に境されている。基質線維層の線維配列は不規則である。X 1,500。
- c 図 a の矢尻 C 部分の拡大像。シャープピー線維層 (S) は象牙質 (D) や基質線維層 (M) に比べやや窪んでいる。シャープピー線維層と基質線維層 (M) の境界部では束のほぐれたシャープピー線維の間に基質線維が混入している。X 1,500。

図5 基質線維層。走査型電子顕微鏡像。

- a 次亜塩素酸 (30分) 一酸処理。酸処理のみに比べ, 線維の走行がより明瞭である。歯軸線維束の縦断面 (LS), 輪状線維束の横断面 (CS) と, これらの線維束の間にセメント質の深浅方向に走る短い交差線維 (CF) が認められる。また, 交差線維の一部が歯軸方向に走行する線維と連絡している (矢印)。X 7,500。(文献32より引用)。
- b 次亜塩素酸ナトリウム (20分) 処理し, 脱灰後更に水酸化ナトリウム浸軟処理。明瞭な線維構造が観察される。交差線維 (CF) は輪状線維束の横断面 (CS) を分けるように走る細い線維束で, 歯軸線維束の縦断面 (LS) と連続し, 移行している (矢印)。X 9,500。

図6 層板を貫くシャープピー線維の光学顕微鏡像と走査型電子顕微鏡像の比較。

- a 有細胞セメント質の無染色光学顕微鏡像。シャープピー線維 (S) が暗調な成長線 (IL) を貫いている。D: 象牙質。X 150。
- b 図 a の走査型電子顕微鏡像。次亜塩素酸 (10分) 一酸処理。光学顕微鏡像の成長線 (図 a の IL) と同一位置に溝構造 (G) が認められる。研磨面にシャープピー線維 (S) の一部が観察される。X 150。
- c 図 b の * 部分の拡大。多量の基質線維 (M) の間に, 棒状のシャープピー線維束の断端 (S) が認められる。CL: セメント小腔。X 950。

図7 基質線維層を境する溝の拡大像。走査型電子顕微鏡像。研磨, 次亜塩素酸一酸処理。載物時に, 溝構造を境に剝離した試料。

- a 上方のセメント質表面側の溝構造の壁面では, 突出した短い線維束の断端が多数認められる (矢印)。矢尻 B, C は図 7 b, c の拡大位置と観察方向を示す。D: 象牙質。X 450。

挿入図 試料全体の状態を示す。枠に囲まれた部分の拡大が図 a である。D: 象牙質, CC: 有細胞セメント質。X 45。

- b 図 a の矢尻 B 部分の拡大。溝のセメント質表面側の壁面 (UW) では, 不定形基質に覆われた輪郭の不明瞭な基質線維が認められる。GS: 研磨面。X 1,300。
- c 図 a の矢尻 C 部分の拡大。溝の象牙質側の壁面 (LW) の基質線維は, 表面側の壁面 (図 b) と比べ明瞭である。基質線維束の間には多数の間隙が認められる。GS: 研磨面。X 1,900。

図8 同一研磨片の光学顕微鏡像(a), コンタクトマイクロラジオグラフィー像(b), 走査型電子顕微鏡像(c)の比較。(文献33より引用)。

セメント小腔 (CL) の位置は互いに一致する。また, 層板, 成長線 (IL), または溝構造 (G) の位置や配列も互いに類似している。D: 象牙質。X 80。

- a 多くの成長線 (IL) が歯根表面と平行している。
- b 多くの明るい, 高 X 線吸収薄層 (IL) が歯根表面と平行している。
- c 幅の狭い溝構造 (G) が歯根表面と平行に走行する。次亜塩素酸 (10分) 一酸処理。

図9 図8の拡大像。セメント小腔 (CL) と a-d の成長線 (または, 溝構造) は各図で同一の構造を示している。S: シャープピー線維層。X 300。(文献33より引用)。

- a 光学顕微鏡像。2 - 5 μ m 幅の明調な帯状構造であ

る成長線が層板を境している。

- b コンタクトマイクロラジオグラフィー像。成長線は、明るい高X線吸収薄層である。
- c 光学顕微鏡像（図a）の成長線（太い破線）と走査型電子顕微鏡像（図d）の溝構造（点線）をトレースし、図bに重ねて示している。これらの線は互いに重なっている。
- d 走査型電子顕微鏡像。幅の狭い溝構造が層板を境している。
- e 光学顕微鏡像（図a）の成長線のトレース（太い破線）を図dに重ねて示している。成長線と溝は重なっている。

図10 次亜塩素酸ナトリウム処理後（a, b）と続く酸処理（c, d）後の、光学顕微鏡像（a, c）とコンタクトマイクロラジオグラフィー像（b, d）の変化の比較。

矢尻は次亜塩素酸ナトリウム処理（右半部）と非

処理（左半部）の境界を示す。X 300。（文献33より引用）。

- a 光学顕微鏡像。処理面では幅の狭い溝（G）が成長線に沿って走る。
- b コンタクトマイクロラジオグラフィー像。高X線吸収薄層のX線吸収度は、処理面（右）と非処理面（左）であまり変化していない。高吸収薄層に付随する低吸収薄層のX線吸収度は、処理面で著しく低下している。
- c 光学顕微鏡像。次亜塩素酸ナトリウム処理で生じた溝は、酸処理によって不明瞭となった。
- d コンタクトマイクロラジオグラフィー像。酸処理により、試料全面のX線吸収度が低下した。次亜塩素酸ナトリウム非処理面では高吸収層と低吸収層の境界が不明瞭となったが、処理面では低吸収薄層が更に吸収度を低下させた。